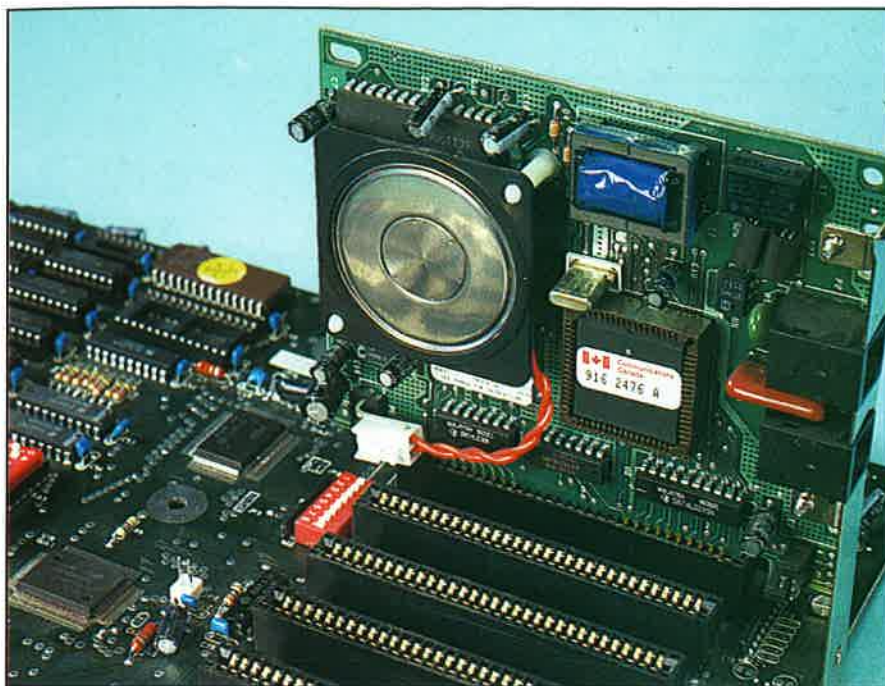
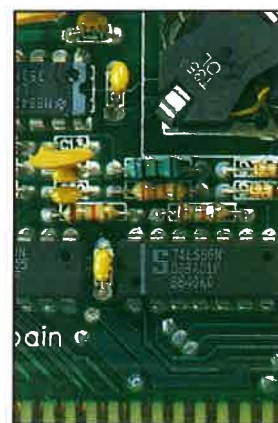
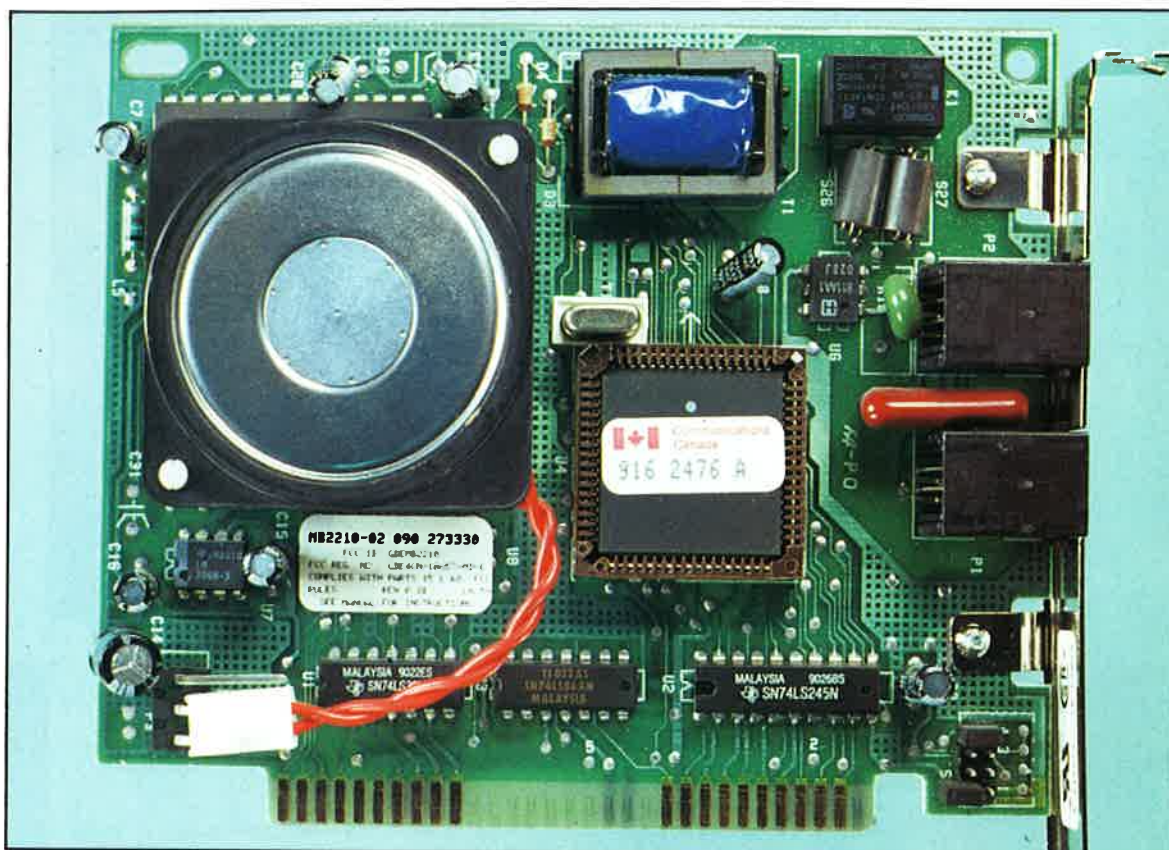
SPEDIZIONE IN ABB. POST.
GRUPPO II/70
ELETTRONICA E PC
L.9.900 Frs.17
10
HARDWARE
E PERIFERICHE
Il controllo del modem
CORSO
DI ELETTRONICA
DIGITALE
Le famiglie logiche TTL
REALIZZAZIONI
PRATICHE
Convertitore
digitale -analogico
JL JACKSON
LIBRI

Il controllo del Modem

Per controllare un modem è sufficiente un terminale o un computer che funzioni come tale. In questo caso, ciò che viene digitato sulla tastiera dell'elaboratore viene inviato al modem, e quello che riceve il modem, o le sue risposte, compare sullo schermo: tra il computer e il modem si genera perciò un flusso di informazioni, di comandi e di stati di funzionamento.

Il modem può trovarsi, relativamente al computer o PC, in due condizioni di funzionamento fondamentali:
"MODALITA' DATI"
"MODALITA' COMANDI"

La *modalità dati* è anche conosciuta come "*in comunicazione*" o "ON LINE", ed è attiva quando il modem sta eseguendo o ricevendo una chiamata oppure è in attesa di dati dal terminale posto all'altro capo della linea.

Per controllare un modem è sufficiente un terminale, o un computer che funzioni come tale

I comandi di controllo del modem sono costituiti da una sequenza di lettere e numeri

Il modem è un mezzo sicuro, affidabile ed economico per la trasmissione dei dati

Nella *modalità comandi* si comporta invece nel modo opposto al precedente; il modem non è in comunicazione con un altro terminale, ma è in attesa che venga stabilita una comunicazione da parte dell'utente oppure è in attesa di ricevere una chiamata. Questo stato è anche conosciuto come condizione "OFF LINE".

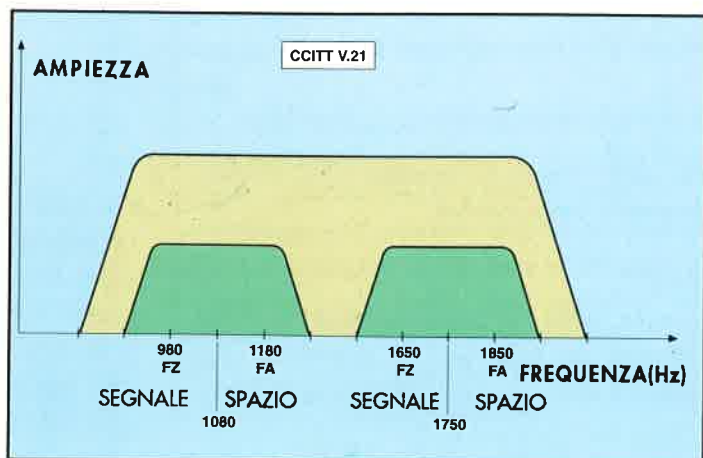
Nella modalità comandi l'utente può inviare direttamente dei comandi di controllo al modem per eseguire una chiamata verso un altro terminale, oppure può configurare il dispositivo stesso.

Per poter eseguire un comando nella modalità dati invece, occorre accedere alla modalità comandi con la sequenza escape "+++".

Come si può facilmente intuire, per stabilire la comunicazione è necessario utilizzare una specie di linguaggio comprensibile dall'utente, dal computer e dal modem: per questo motivo sono stati sviluppati dei comandi standardizzati, tra i quali i più conosciuti sono i comandi AT, per mezzo dei quali è possibile controllare il funzionamento del dispositivo; questi comandi sono costituiti da una sequenza di lettere e numeri.

L'impiego di un computer consente di controllare il modem e di stabilire una comunicazione mediante la trasmissione dei dati introdotti tramite la tastiera; al tempo stesso, tramite l'uso diretto dei comandi AT, ne permette la loro ricezione direttamente sullo schermo del terminale collegato.

Se si desiderano prestazioni più spinte, come inviare o ricevere file o eseguire una applicazione

Frequenza del modem V21

sull'altro estremo della linea, i programmi di comunicazione sono dotati di sufficienti utility per fare in modo che questi comandi non debbano essere digitati dall'utente.

COMANDI AT

Questi comandi sono costituiti in pratica da una sequenza di lettere e numeri che, nella maggior parte dei casi, è preceduta dal prefisso AT. Come conseguenza, si possono definire due categorie di comandi: quelli con prefisso AT e quelli senza prefisso. A quest'ultima categoria appartengono solo due comandi: quello di "ripetizione del comando" stesso, e il "codice escape (+++)".

L'istruzione di ripetizione del comando viene rappresentata con il codice "*A/*", e impone al modem di rieseguire il comando che in quell'istante è presente nel buffer, corrispondente all'ultimo comando eseguito. Questo comando risulta molto utile nel caso in cui sia necessario ripetere un numero telefonico perché non si è ottenuta la comunicazione al primo tentativo.

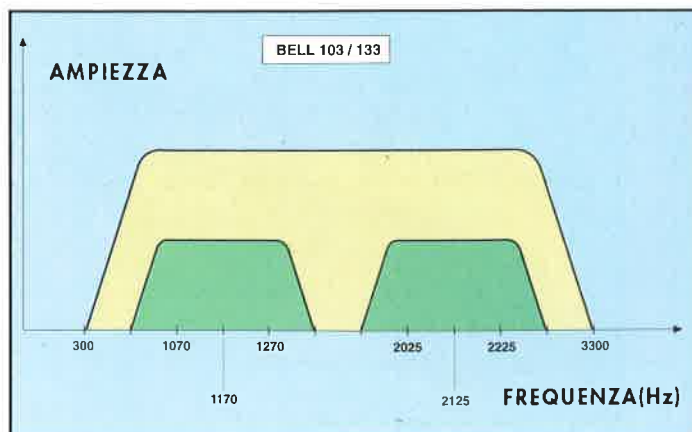
Il comando di escape è composto da tre caratteri consecutivi (+++) seguiti da una pausa, definita tempo di attesa, che serve per evitare l'interpretazione di una catena di tre caratteri, uguali al comando di escape, appartenente all'insieme dei dati trasmessi durante la comunicazione come comando di escape.

Questo comando permette di ritornare alla modalità comandi, quando si è in modalità dati, senza che la comunicazione in corso venga interrotta; ciò significa che, se durante una comunicazione si invia un codice escape, viene interrotta la trasmissione dei dati ma non la comunicazione.

Il comando di escape è l'unico che il modem riconosce nella modalità dati, e in questa condizione non accetta nessun altro tipo di comando.

COMANDI CON PREFISSO AT

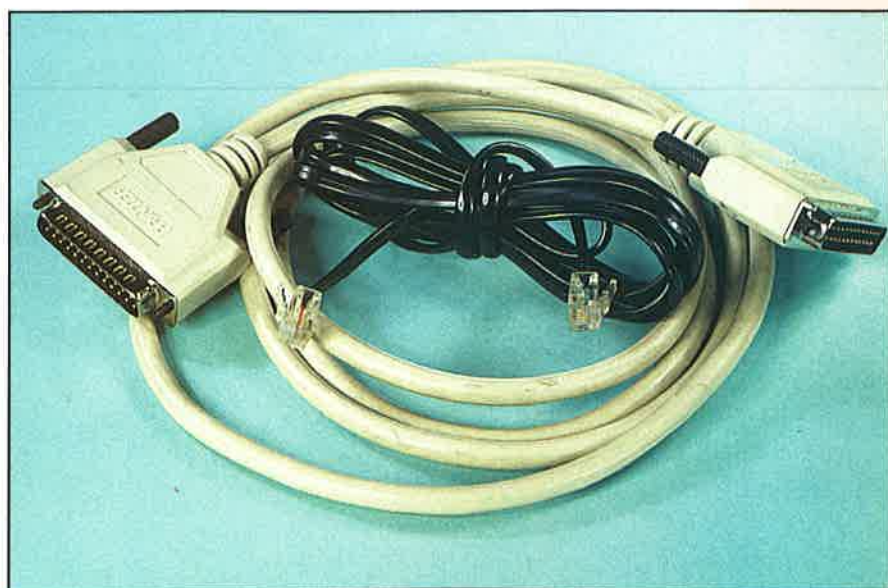
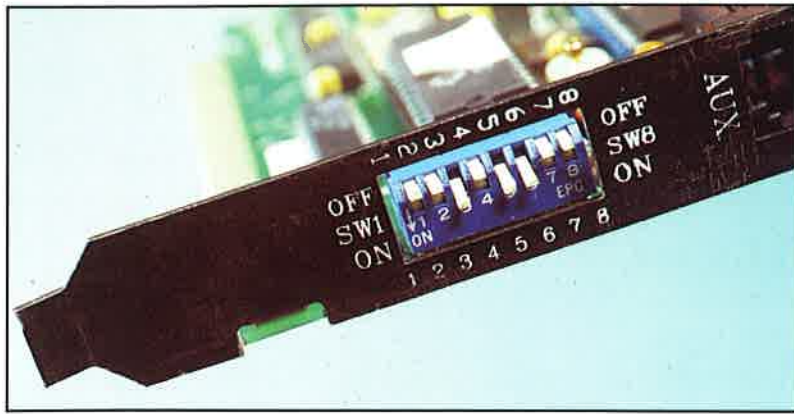
Tutti questi comandi sono preceduti dalla sigla AT, e in considerazione delle funzioni che svolgono possono essere suddivisi in tre gruppi:

- *comandi di chiamata*
- *comandi generali*
- *registri S*

Frequenze del modem Bell 103/133: la stazione che effettua la chiamata trasmette nella banda di frequenza più bassa e riceve nella banda più alta, mentre la stazione ricevente si comporta in modo opposto

I comandi di chiamata si devono inserire al termine di una linea di comandi, e servono per chiamare il modem remoto. La loro sintassi è: *AT....D*, dove *D* serve per indicare al modem che i caratteri seguenti corrispondono al numero telefonico da comporre per effettuare la chiamata; un esempio può essere rappresentato dalla linea ATDP0W3712267 dove:

- *AT* è il prefisso del comando
- *D* è l'istruzione di chiamata
- *P* indica che la chiamata è per impulsi
- *0* è il primo numero da fare (ad esempio per prendere la linea in un telefono con centralino)

I comandi AT sono costituiti da una sequenza di lettere e numeri

Il modem interno richiede l'utilizzo del solo cavo telefonico e non del cavo RS232, mentre quello esterno ha bisogno di entrambi

Il modem interno è dotato generalmente di una serie di DIP di selezione accessibili dall'esterno del PC

Quasi tutti i modem supportano una grande varietà di programmi, che normalmente sono specificati dal costruttore

- *W* indica al modem di attendere il secondo tono di chiamata (ad esempio il tono che il centralino emette per abilitare la chiamata esterna) prima di fare il numero
- @, *T* e altri simboli quali *! / R* possono venire utilizzati in aggiunta come parametri opzionali per chiamate con richieste speciali.

I comandi generali sono sei, e vengono utilizzati per configurare il modem e per eseguire delle istruzioni in modo immediato.

I comandi di registro sono utilizzati per leggere o scrivere nei diversi registri di cui è dotato il modem. In questi registri sono memorizzati i parametri operativi dello stesso, i valori ASCII di alcuni caratteri speciali, i bit relativi allo stato di condizione generale, ecc.

IL PROGRAMMA DI COMUNICAZIONE

In parecchi casi è necessario eseguire certe particolari operazioni, come inviare file, ricevere file, analizzare informazioni sul terminale remoto, eseguire programmi sul terminale remoto, ecc.

Tutte queste operazioni, e altre ancora, si possono eseguire grazie alle possibilità offerte dal programma di comunicazione, che deve essere lanciato e reso operativo. Eseguirle è molto semplice in quanto, nella maggior parte dei casi, appaiono direttamente come voci del menu principale del programma; ciò consente all'utilizzatore di gestire internamente i diversi comandi AT per cui, risultando questi trasparenti, non è tenuto a conoscerne l'intera sintassi.

Quasi tutti i modem supportano una grande varietà di programmi, che generalmente vengono anche specificati dal costruttore dell'apparecchiatura. Questi programmi sono facilmente reperibili in commercio a prezzi relativamente contenuti; tra quelli più utilizzati si segnalano PCPLUS, PROCOMM, XTALK, ecc.

Il modem interno ha le uscite di linea e del telefono poste sulla staffa di fissaggio della scheda

MODEM INTERNO E MODEM ESTERNO

In commercio si possono reperire due tipi di modem, la cui diversità sostanziale sta nel fatto che uno deve essere inserito all'interno del computer, mentre l'altro deve essere collegato esternamente.

Il modem che viene installato internamente al computer è chiamato modem interno, mentre quello collegato dall'esterno è definito modem esterno. Entrambi presentano una serie di vantaggi e inconvenienti, che tuttavia non comportano problemi all'utente.

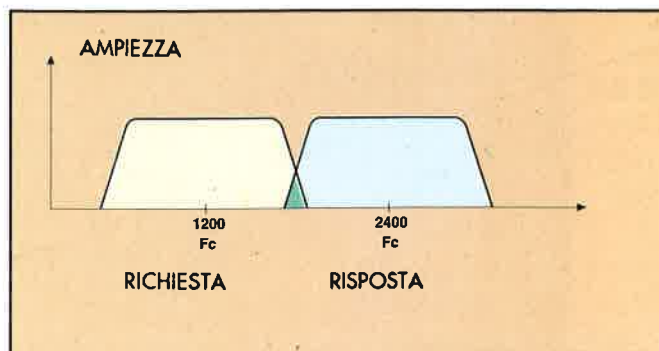
Il principale vantaggio del modem interno è dovuto al fatto che questo dispositivo non occupa spazio nell'ambiente di lavoro, in quanto viene inserito all'interno del PC; inoltre, non richiede l'utilizzo di un cavo seriale RS-232 per il collegamento al computer.

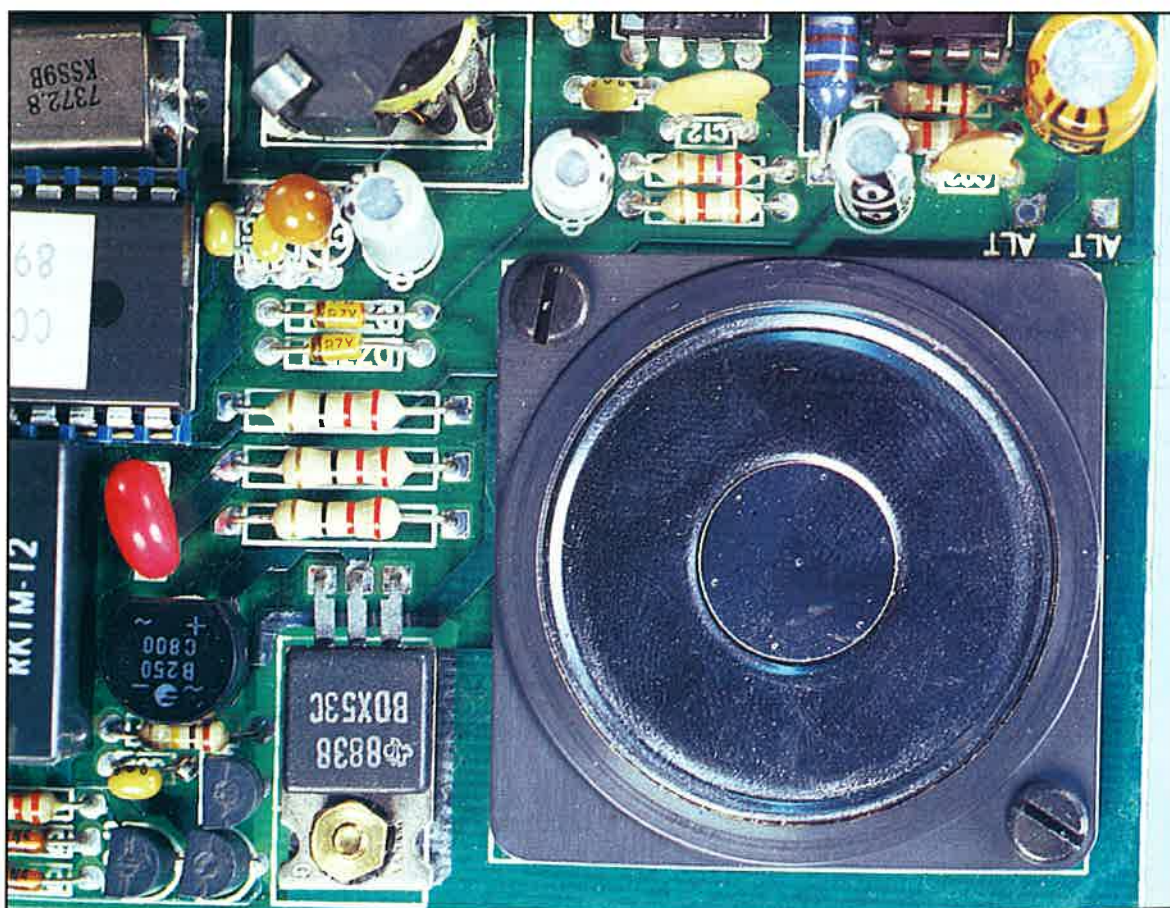
Il modem esterno è un modulo unico che si collega al PC attraverso la porta seriale RS-232; in questo caso, poiché questa porta è occupata dal modem, è necessario disporre di altre porte seriali per collegare altre periferiche al calcolatore, quali il mouse o lo scanner.

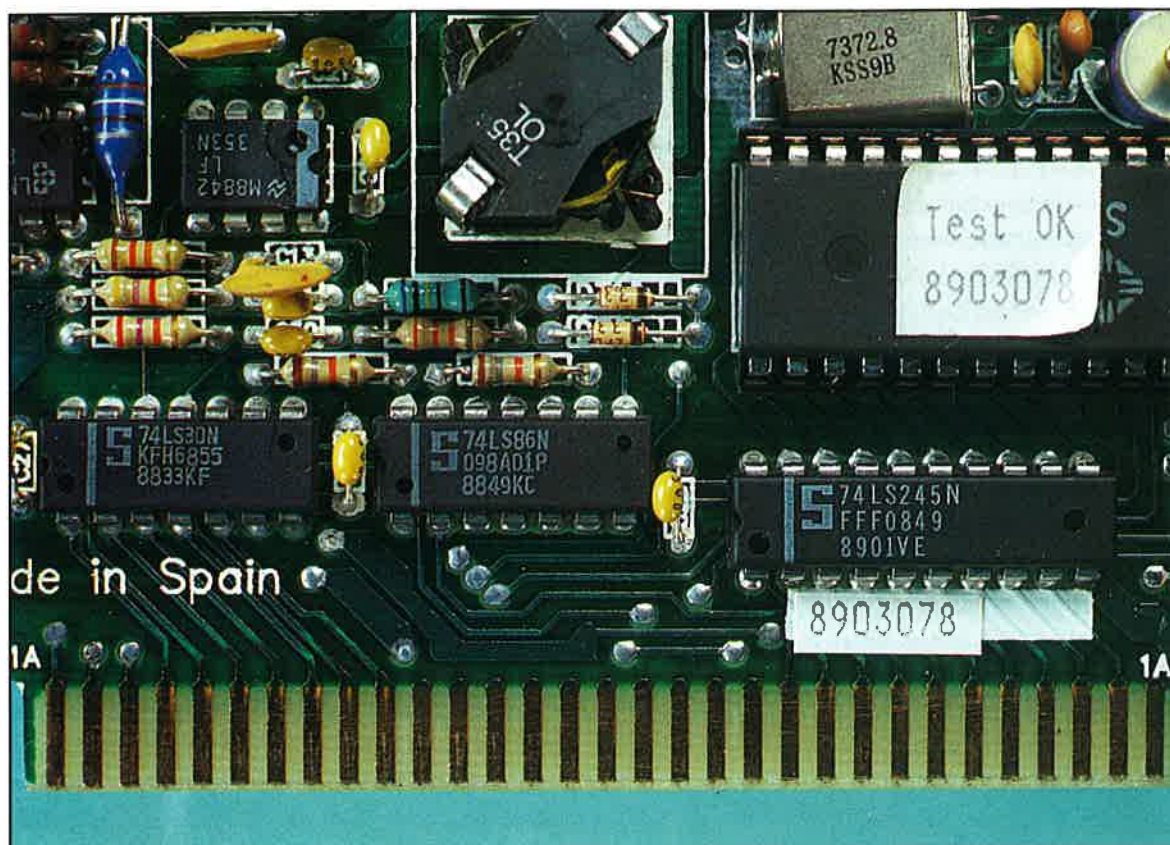
Il modem esterno richiede un'alimentazione separata, che viene fornita da un alimentatore esterno collegato alla tensione di rete. Con questo tipo di modem è possibile visualizzare le sue condizioni

di funzionamento e di stato, grazie agli indicatori luminosi di cui è dotato.

Normative per i modem

Vi sono due grandi organizzazioni che hanno segnato la strada nella standardizzazione dei modem: la AT&T e la CCITT.
I modem costruiti nello standard AT&T vengono classificati con la sigla Bell (ad esempio BELL 103); sono molto simili ai modem CCITT ma non necessariamente compatibili con questi ultimi. Attualmente però, l'evoluzione tecnologica in questo campo ha permesso la realizzazione di apparecchiature che soddisfano diverse normative sia Bell che CCITT.
La maggior parte di queste normative sono molto simili, per cui sembrerebbe quasi che lo standard Bell sia omologo allo standard CCITT. Un esempio tipico è costituito dagli standard BELL 103 e CCITT V.21: entrambi possono operare a 300 baud e sono simili per molti aspetti ma, utilizzando due gamme di frequenze udibili diverse, non sono compatibili e non possono comunicare tra di loro. Lo stesso avviene per le normative BELL 102 e CCITT V.23.
Queste discordanze sulla standardizzazione delle normative internazionali stanno per essere superate dai progettisti di modem e dei componenti elettronici relativi, che stanno sviluppando una nuova famiglia di circuiti integrati in grado di

Frequenze del modem Bell 212A, che opera in modalità duplex completa a 1200 baud

Altoparlante che consente di ascoltare il tono della linea, gli impulsi di chiamata e le comunicazioni vocali

Sono due le organizzazioni che hanno segnato la strada per la standardizzazione dei modem: AT&T e CCITT

Un esempio di modem integrato è l'AM7910, che lavora sia come Bell 103 e V.21, che come Bell 202 e V.23

Il modem interno si collega al PC tramite il connettore a pettine presente sul circuito stampato

supportare contemporaneamente sia le normative Bell che le CCITT.

Un esempio di modem integrato in grado di soddisfare normative diverse è costituito dal circuito integrato AM7910, che può operare negli standard BELL 103 e V.21, oppure BELL 202 e V.23.

Attualmente esistono moltissime normative, che riguardano principalmente la velocità di trasmissione, i bit di riserva, i bit di ritorno, il tipo di sincronismo di cui è dotato il modem (sincrono, asincrono o entrambi), il tipo di modulazione utilizzata (FSK, DPSK, QAM, OOK, SSBSC), e le frequenze di trasmissione.

Queste ultime sono molto importanti, poiché rappresentano l'intervallo nel quale vengono generati il canale di ritorno e il canale diretto di comunicazione all'interno della larghezza della banda audio di comunicazione.

Generalmente questa larghezza di banda è compresa tra 300 Hz e 3400 Hz e, in funzione del tipo di normativa o di modem, può essere utilizzata completamente o solo in parte.

Lo standard da utilizzare in un modem è funzione diretta delle esigenze dell'utente

L'impiego di un modem con un tipo di normativa anziché un'altra è funzione delle proprie esigenze, che si traducono nello studio dei parametri sui quali si deve operare, quali la velocità di trasmissione, il tipo di sincronismo, l'impiego su canali telefonici o in radiofrequenza, ecc. A tal fine esiste una tabella riepilogativa e di confronto, nella quale vengono riportate tutte le normative, che permette di identificare facilmente quella più idonea alle proprie esigenze e, di conseguenza, adattare la scelta del modem in funzione di questa.

PROTOCOLLI DI TRESMISSIONE PER IL TRASFERIMENTO DEI FILE

Il protocollo per il trasferimento dei file è quello che definisce le regole che si devono rispettare per poter inviare un file tramite il PC e il modem.

Il più conosciuto è l'XMODEM, che utilizza 128 blocchi di bit; dopo ciascun blocco trasmette un codice speciale, definito *checksum*, che serve per verificare i dati trasmessi e ricevuti al fine di eliminare un possibile errore.

Sulla base dell'XMODEM sono stati creati altri protocolli di trasferimento che, pur presentando alcune migliorie, forniscono risultati sostanzialmente simili. Tra questi vale la pena di ricordare quelli seguenti:

- *XMODEM-CRC*, utilizza un ciclo di verifica ripetitivo molto complesso, che riduce in modo notevole la possibilità di errore,
- *XMODEM-1K*, è simile all'XMODEM, ma può operare con 1024 blocchi anziché 128.

Collegamenti con l'oscilloscopio per eseguire la verifica del diagramma ad occhio di trasmissione

Altri tipi di protocollo per il trasferimento di file sono l'YMODEM, l'YMODEM-G e lo ZMODEM (che raggruppa le caratteristiche dell'XMODEM e dell'YMODEM).

Infine esiste il KERMIT, consigliato per il trasferimento di file tra PC e minicomputer e per il trasferimento di file binari; può essere perciò considerato sia un protocollo che un programma.

Questo utilizza piccoli blocchi di dati, nella maggior parte dei casi con dimensioni di 94 bit, che rendono bassa la velocità di comunicazione e limitano l'operatività soprattutto dei modem ad alta velocità di trasmissione.

VERIFICA DI UN MODEM

Il modem è dotato di una serie di test che ne permettono il controllo e che rendono più semplice la localizzazione degli errori quando la qualità della trasmissione non è accettabile.

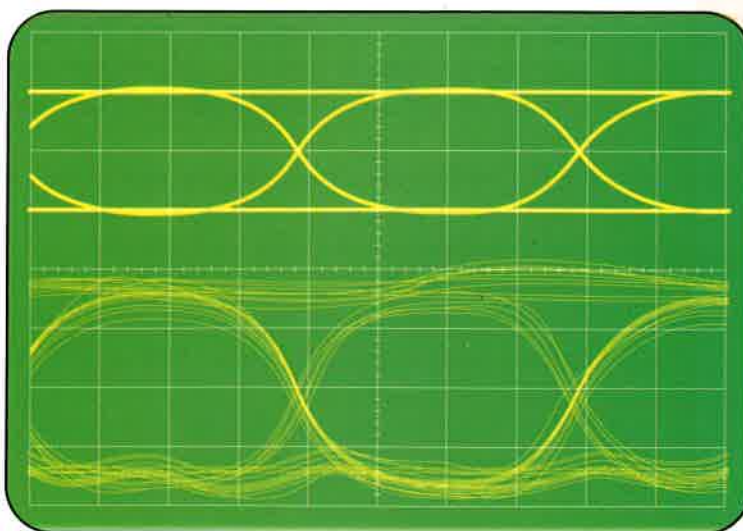
Questi controlli possono essere raggruppati in cinque operazioni di verifica, che sono le seguenti:

- *verifica con collegamento analogico locale*
- *verifica con collegamento analogico locale e autotest*
- *verifica con collegamento digitale remoto*
- *verifica con collegamento digitale remoto e autotest*
- *verifica con collegamento digitale locale.*

Queste prove possono essere eseguite tramite l'immissione di comandi AT, con riferimento al manuale di ciascun modem.

La verifica con collegamento analogico locale consente all'utente di controllare lo stato generale del modem e del terminale o PC. In questa prova il modem esegue un ciclo ripetitivo interno, rinviando al computer o terminale i dati che gli

Il modem permette l'esecuzione di una serie di test di prova per facilitare la localizzazione degli errori

Curve del diagramma ad occhio di trasmissione e ricezione dei dati

L'utente può optare per il modem esterno o quello interno

arrivano; se i caratteri restituiti dal modem sono esatti significa che il modem e il PC funzionano correttamente. Nella verifica con collegamento analogico locale e autotest il modem attiva un generatore campione, il cui segnale viene confrontato con se stesso e successivamente inviato al collegamento analogico locale per fornire informazioni sul funzionamento del modem e del collegamento con il PC.

La verifica con collegamento digitale remoto è un sistema di controllo completo, con il quale vengono ispezionate entrambe le apparecchiature (locale e remota), il PC locale e quello remoto e, cosa più importante, la linea di trasmissione.

La verifica con collegamento digitale remoto e autotest permette il controllo dell'integrità del modem locale, della linea telefonica e del modem remoto.

Le istruzioni dei comandi AT sono riportate nei manuali operativi di ciascun modem

Infine, nella verifica con collegamento digitale, se entrambi i dispositivi sono in linea, il modem locale rimanda i caratteri ricevuti al modem remoto.

Tutte queste prove sono molto semplici, e si possono eseguire semplicemente digitando le istruzioni dei comandi AT e aspettando che compaiano sullo schermo le risposte. Le funzioni dei comandi AT sono descritte nel manuale operativo di ciascun modem e sono generalmente standardizzate.

DIAGRAMMA AD OCCHIO DI TRASMISSIONE

É una tecnica diagnostica per il progetto e la verifica del modem che sfrutta l'impiego dell'oscilloscopio. Viene chiamata in questo modo a causa della forma d'onda risultante, che somiglia molto ad un occhio, ed esegue un confronto tra i dati trasmessi e quelli ricevuti.

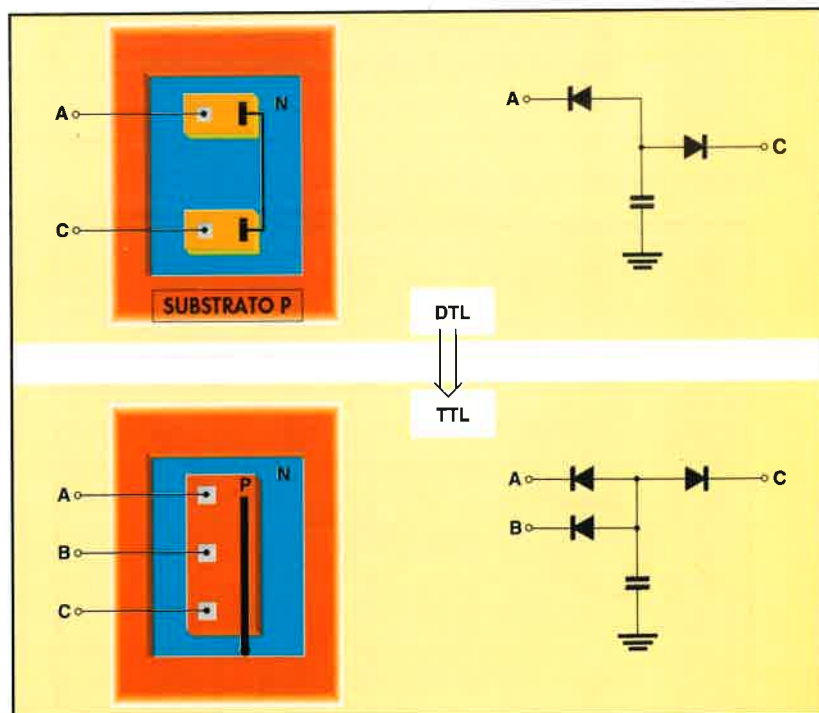
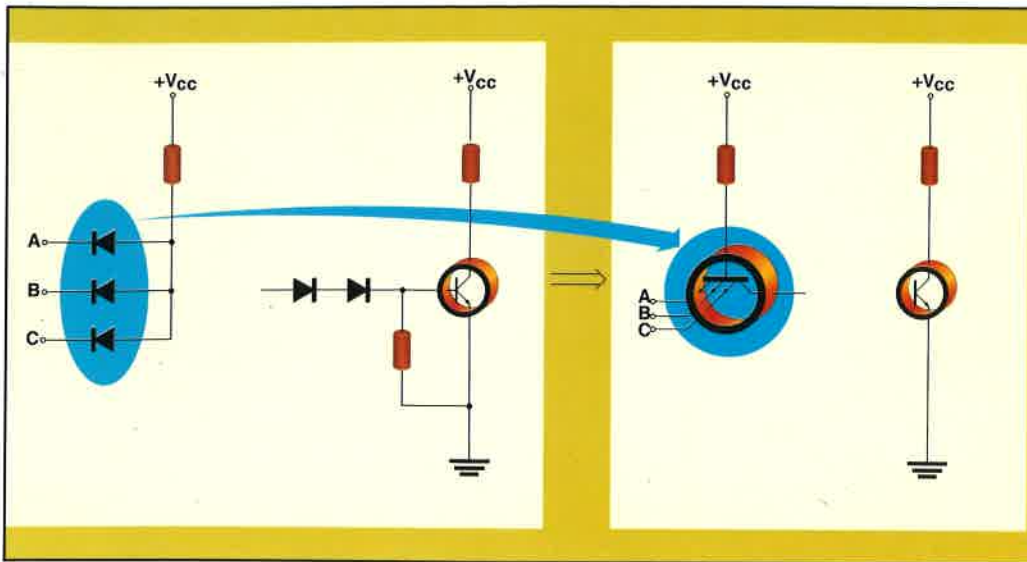
Per generare un diagramma di questo tipo si devono inviare i dati trasmessi all'ingresso della scansione orizzontale dell'oscilloscopio, che inizia la scansione quando viene triggerato e si stabilizza ad un multiplo intero del periodo di un bit. I dati ricevuti devono essere invece inviati all'ingresso verticale dell'oscilloscopio, che deve essere impostato con gli stessi valori di sincronismo e di trigger definiti per i dati trasmessi. In questo tipo di verifica vengono visualizzati i dati prima della modulazione, ed è possibile osservare come in corrispondenza di un aumento della velocità questi passano dalla forma rettangolare a quella sinusoidale; dopo la demodulazione invece, si possono osservare le fluttuazioni di ampiezza e di fase corrispondenti ad un aumento della velocità. Questa verifica è ottimale per il controllo del flusso dei dati in trasmissione e in ricezione, poiché questi vengono visualizzati in funzione del tempo.

LE FAMIGLIE LOGICHE TTL

Le famiglie logiche che sono state descritte sino a questo momento rappresentano solo il preludio alle porte attualmente più utilizzate nei progetti logici e, in particolare, nelle diverse schede del PC.

Il circuito logico con saturazione più rapida è quello della porta in tecnologia transistor-transistor, o TTL, illustrata nella figura corrispondente. Come si vedrà in seguito, questa famiglia ha rapidamente sostituito le porte DTL poiché, rispetto a queste, presenta una migliore immunità al rumore, un minor ritardo di propagazione, e consente più funzioni. Le due logiche sono però tra loro compatibili nello stesso sistema elettronico digitale.

Per cercare di ridurre la capacità parassita nei TTL, già presente nei sistemi DTL, sono state tentate diverse modifiche nella configurazione dei semiconduttori che compongono la famiglia. Una prima diminuzione delle capacità parassite generate dall'insieme dei diodi di ingresso si ottiene con la struttura che si può osservare nella figura corrispondente. In effetti, la capacità della giunzione N-P polarizzata inversamente risulta minore quanto minore è l'area della giunzione.

La differenza principale tra la logica TTL e quella DTL consiste nella sostituzione del gruppo dei diodi di ingresso con un transistor multiemettitore. Questo consente anche una più rapida estrazione delle cariche di base del transistor di uscita durante la saturazione.

Trasformazione dell'ingresso di una famiglia DTL in un ingresso TTL

I diodi di ingresso di una porta DTL vengono sostituiti in una TTL con un transistor multiemettitore

Vista l'importanza di questa famiglia, verranno esaminati di seguito con maggior dettaglio i parametri che caratterizzano questi circuiti logici, e le diverse varianti che si possono ottenere nella struttura delle porte.

PORTE TTL FONDAMENTALI

In figura è rappresentata una porta TTL standard, con tensione di alimentazione tipica di 5 V. Il transistor Q1 è il multiemettitore che risponde alle variazioni dei livelli logici sugli ingressi, operando come un commutatore che in certi casi eroga corrente alla base di Q2, mentre in altri recupera la carica immagazzinata presente sulla base di Q2 e la capacità presente tra il collettore di Q1 e il substrato. Si osservi che la tensione sulla base di Q1 non supera i 2,1 V, poiché il collegamento tra la base di Q1 e massa è formato da tre giunzioni: base-collettore di Q1, base-emettitore di Q2 e base-emettitore di Q3. Se le tensioni applicate sugli emettitori di Q1 sono a livello alto, il transistor Q4 risulta in interdizione poiché la tensione di collettore del transistor Q2 è insufficiente per far condurre la giunzione base-emettitore di Q4 in serie a D. Il transistor Q3 invece è in saturazione, poiché è funzione del carico applicato alla porta. In questa situazione Q1 sta operando in modo inverso: la giunzione base-collettore è polarizzata direttamente, mentre quella base-emettitore lo è inversamente.

Circuito convenzionale di una porta NAND in tecnologia TTL

Uno dei vantaggi delle porte TTL è la loro velocità. Si osservi quale influenza può avere su questo parametro il transistor multiemettitore. Nella situazione precedente Q2 era in saturazione, ed aveva perciò delle cariche immagazzinate nella sua base. D'altra parte, la capacità parassita che si forma tra il collettore di Q1 ed il substrato risulta caricata ad un certo potenziale. Si supponga di provocare una transizione dal livello logico alto a uno basso sugli emettitori di Q1, che corrisponde ad un valore di tensione basso; in questo caso la giunzione base-emettitore di Q1 risulta polarizzata direttamente, e ciò provoca la formazione di una considerevole corrente di collettore in Q1 che scarica rapidamente la capacità parassita e recupera le cariche immagazzinate nella base di Q2, portandolo in interdizione in breve tempo. Una volta stabilita questa condizione, attraverso

Pur avendo un funzionamento analogo alle NAND, le porte NOR hanno uno schema circuitale diverso

il collettore di Q1 continua a passare una piccola corrente. Se gli ingressi sono tutti a livello basso, il transistor Q2 funziona come amplificatore saturabile, fornendo due tensioni in opposizione di fase sul collettore e sull'emettitore. Il suo compito è quello di erogare alternativamente corrente alle basi di Q3 e Q4. Il transistor Q2 commuta rapidamente e contribuisce appena al ritardo totale della porta. Q3 è il transistor di uscita, progettato per poter scaricare a massa la corrente che gli arriva dagli ingressi di altre porte TTL ai quali viene applicato uno 0 logico quando Q3 si trova in saturazione; la resistenza R3 ha il compito di recuperare la carica immagazzinata nella base di Q3 quando questo passa dalla condizione di saturazione all'interdizione.

Lo stadio di uscita composto da Q4, D e Q3, in configurazione definita *totem-pole*, presenta i seguenti vantaggi. Quando Q4 funziona come inseguitore di emettitore l'impedenza che presenta l'uscita della porta è sufficientemente bassa, e ciò consente al circuito TTL di funzionare con cariche capacitive a velocità elevate. Il diodo D evita che Q4 entri in conduzione quando Q3 è in saturazione, poiché costituisce una situazione di alta impedenza di carico sul collettore. Durante le transizioni da uno stato all'altro esiste un intervallo di tempo di diversi nanosecondi nel quale sia Q3 che Q4 conducono, generando un percorso a bassa impedenza per la tensione di alimentazione Vcc; ciò accade specialmente quando Q3 passa dalla condizione di saturazione all'interdizione, poiché questo è un processo più lento di quello di entrata in conduzione di Q4. Si può perciò considerare la presenza di D come un sistema che serve per ridurre l'assorbimento di potenza.

Il "totem-pole", o coppia attiva, consente la carica attraverso un transistor che funziona in zona attiva e la scarica tramite un transistor in saturazione

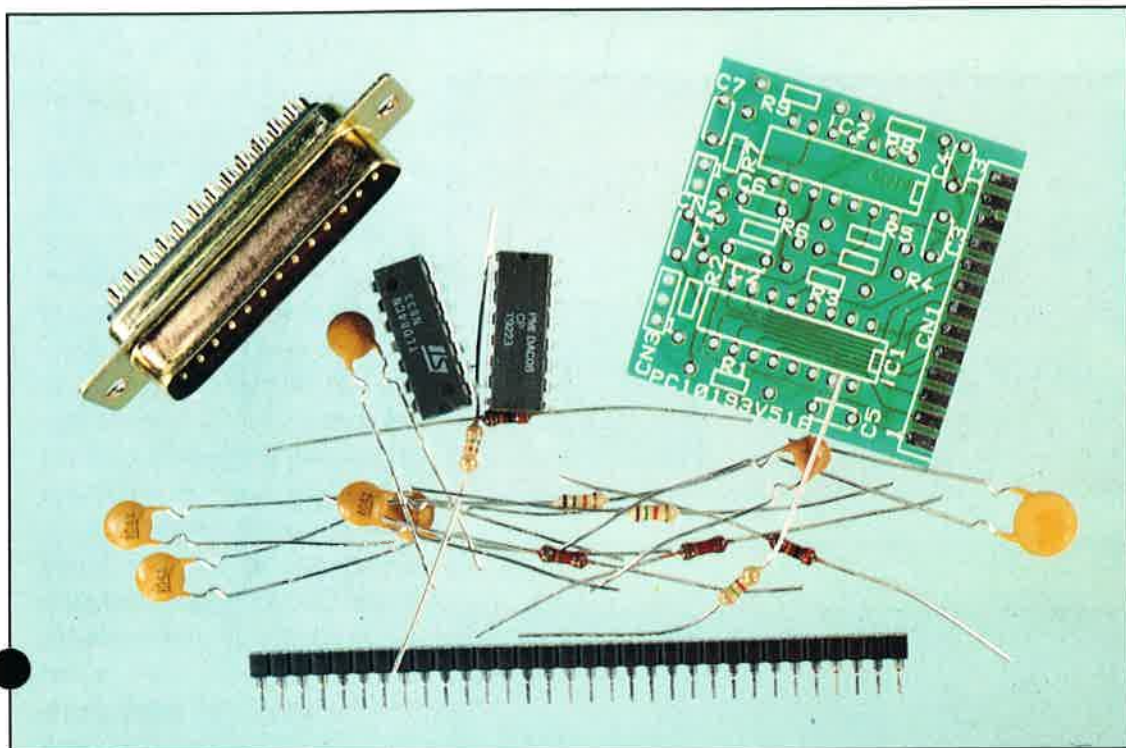
OTTIMIZZAZIONE DEL PROGETTO

Continuando l'analisi del progetto di una porta TTL, è necessario valutare quali sono i valori più opportuni per le resistenze che accompagnano i transistor.

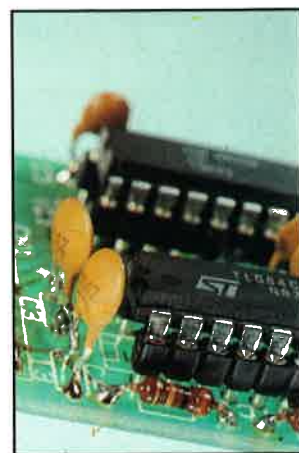
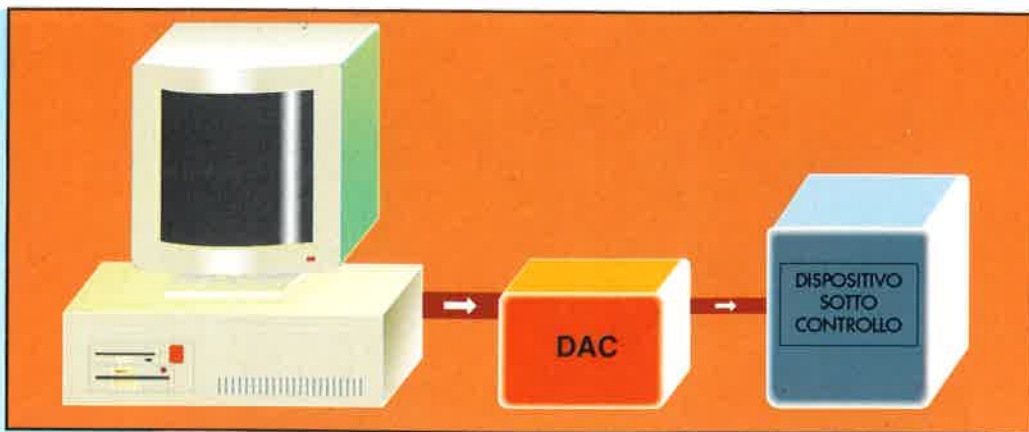
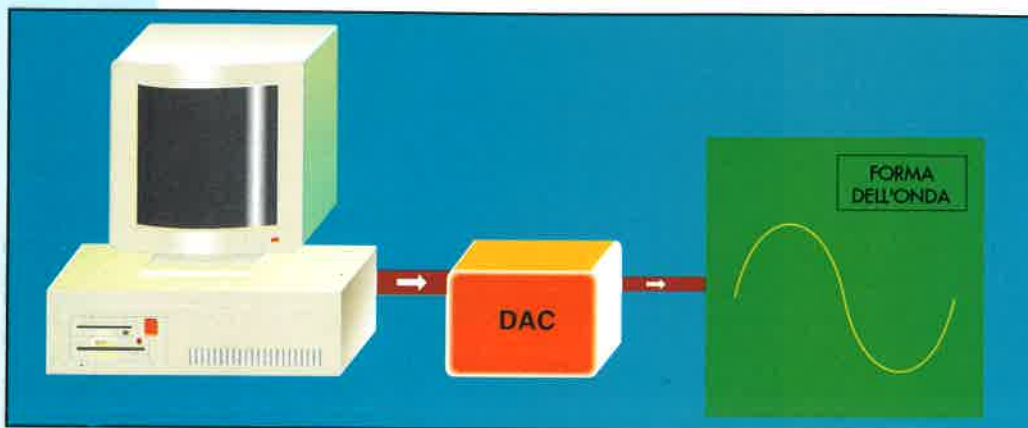
La resistenza R1 viene scelta in modo che la dissipazione di potenza risulti bassa senza influenzare eccessivamente la velocità di commutazione. Più si diminuisce il valore di R1 più le correnti che escono dagli emettitori di Q1 saranno maggiori, per cui si avrà una maggior dissipazione di potenza che renderà più basso il fan-out della porta TTL. Tuttavia, se R1 viene prevista di valore troppo elevato, la corrente di base di Q2 diminuisce, e la costante di tempo con

Circuito integrato con diverse porte NAND in tecnologia TTL

la quale si carica la capacità di collettore di Q1 risulta maggiore, per cui diventa minore la velocità di commutazione.
La resistenza R2 determina la corrente di base di Q3 quando questo si trova in saturazione.
R4 serve, come il diodo D, a limitare la dissipazione di potenza durante le transizioni, e per evitare la formazione di una corrente troppo elevata in caso di cortocircuito sull'uscita quando questa si trova a livello alto. Può capitare che uno o più emettitori di Q1 si trovino a livello alto, e i rimanenti a livello basso. Per quanto riguarda la funzione logica sviluppata dalla porta, questa situazione è identica alla condizione in cui tutti gli emettitori si trovano a livello basso; è sufficiente infatti che uno solo degli ingressi si trovi a livello basso per far sì che i transistor Q2 e Q3 risultino in interdizione, lasciando l'uscita a livello alto.
Come è facile constatare, la porta esaminata è una NAND. In una porta NOR, come quella riportata nella figura corrispondente, il principio di funzionamento è analogo a quello appena esplicato.
Senza ripetere l'analisi elettrica del circuito, si può dire semplicemente che quando uno degli ingressi si trova a livello logico alto conducono i transistor Q2A o Q2B, Q3 è in saturazione, e Q4 risulta interdetto; questa condizione genera un livello logico 0 in uscita.
Se i due ingressi sono entrambi a livello logico 0, Q2A, Q2B e Q3 sono in interdizione, mentre Q4 conduce; in uscita sarà presente un livello logico 1.
Esistono diversi tipi di porte TTL, in funzione dell'impiego cui sono destinate nei diversi circuiti digitali; queste diversificazioni saranno oggetto dei prossimi capitoli.

Curva di trasferimento di una porta TTL

Convertitore Digitale-Analogico

Lo scambio di informazioni tra i PC e il mondo circostante viene generalmente ottenuto attraverso trasmissioni basate sulla tecnologia digitale; questa situazione limita notevolmente le possibili applicazioni.

Generalmente i PC sono dotati di due o tre porte di comunicazione: una parallela per le stampanti o dispositivi simili, e altre di tipo seriale per il mouse, la tavoletta grafica, o dispositivi per la trasmissione dei dati. In tutte queste porte sono presenti dei segnali digitali che difficilmente possono essere utilizzati per controllare circuiti realizzati in tecnologia analogica, nei quali la variazione di un segnale non è soggetta alle regole dell'aritmetica binaria.

Con un convertitore digitale-analogico è possibile controllare diversi dispositivi che operano con segnali variabili

Un convertitore può essere utilizzato anche come generatore di forme d'onda

In queste pagine viene proposto un dispositivo per la conversione dei dati binari in valori analogici di tensione, per consentire il controllo di circuiti che richiedono l'utilizzo di segnali lineari variabili per il loro funzionamento.

La conversione digitale-analogica

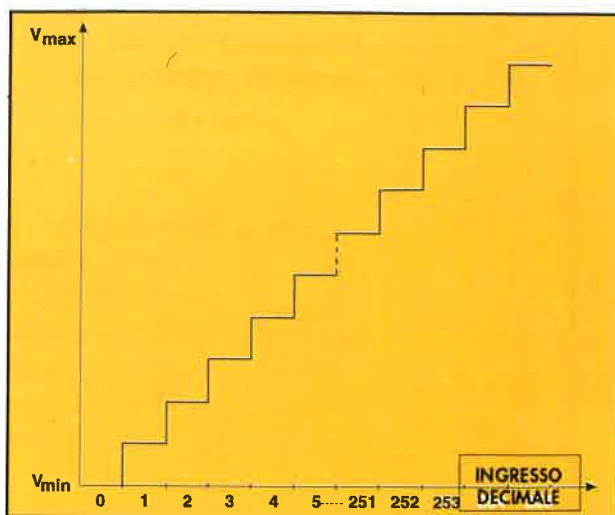
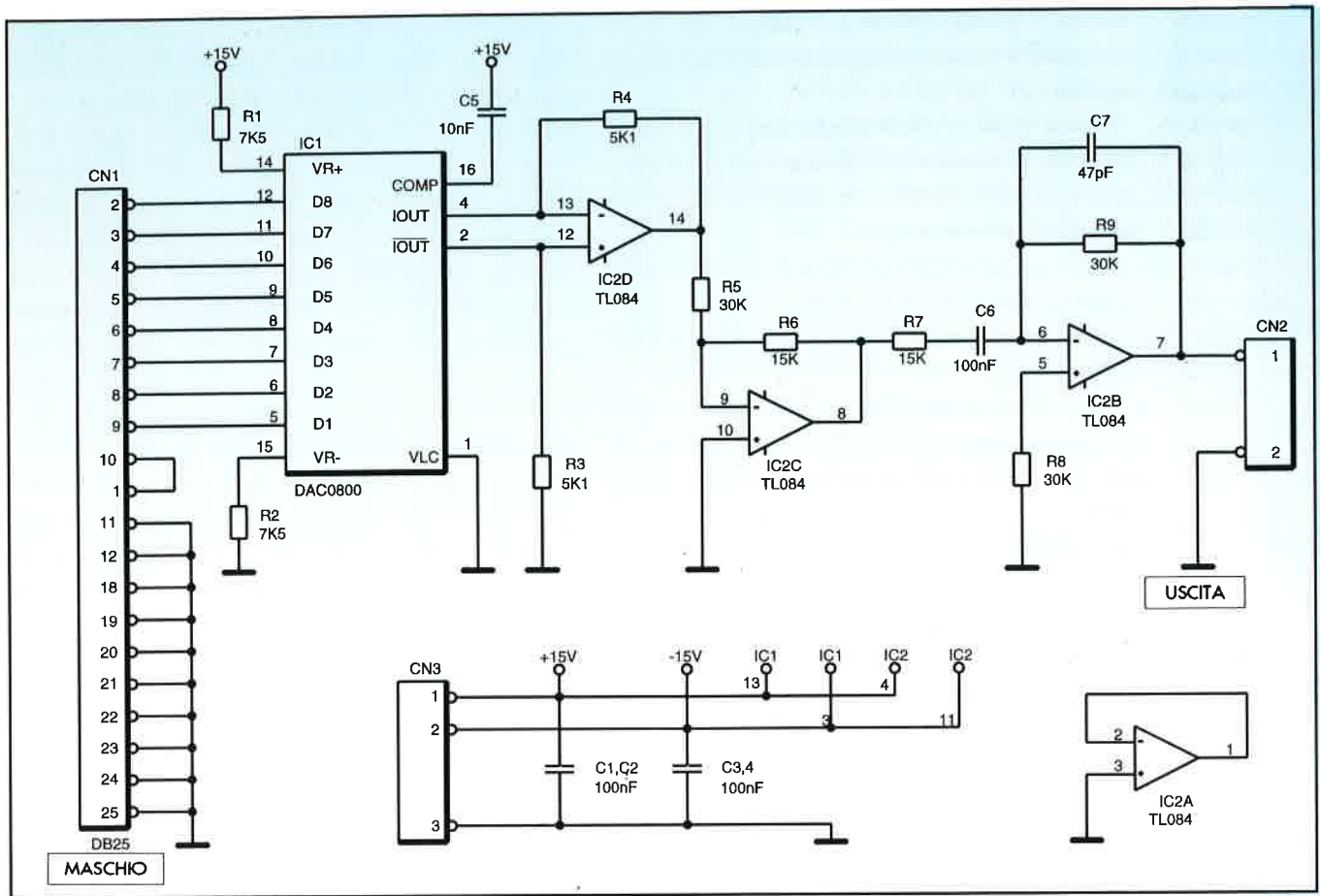
Il metodo più utilizzato per la conversione digitale-analogico è la conversione a scala

Esistono diversi metodi che permettono di realizzare la conversione digitale-analogica. Tra i più conosciuti vi sono la conversione diretta, la conversione frequenza-tensione, e la conversione a scala.

Il metodo a conversione diretta sfrutta dei circuiti comparatori per realizzare la conversione. Se si utilizza un codice binario ad 8 bit si otterranno 8 livelli di uscita diversi, uno per ciascun bit, in funzione della combinazione di ingresso. La precisione di questo metodo è scarsa poiché il valore della tensione di uscita è quello corrispondente al bit più significativo, mentre gli altri vengono ignorati. Viene utilizzata in circuiti semplici a controllo discreto.

Con il metodo di conversione frequenza-tensione si ottiene una tensione di uscita proporzionale alla frequenza del segnale di ingresso. La tensione di uscita si ricava da un treno di impulsi digitali presenti in ingresso. Questo metodo può essere applicato anche ad altre forme d'onda non necessariamente digitali, e viene normalmente utilizzato nei modulatori e nei demodulatori, nei quali il segnale di base è digitale; viene anche impiegato per eseguire misure di frequenza nel campo analogico.

Il metodo più conosciuto è senza dubbio quello della conversione a scala, nel quale a ciascuna combinazione binaria viene fatto corrispondere un valore di tensione in uscita. A differenza della conversione diretta, tutti i bit di ingresso influiscono sul valore dell'uscita. Se si utilizza un convertitore a 8 bit si ottengono 255 livelli di uscita diversi. Questo significa che passando da uno stato binario a quello successivo, per esempio da 00000000 a

Con un convertitore da 8 bit si ottengono 255 livelli di tensione differenti compresi tra il valore minimo e massimo

Il convertitore, pur richiedendo un circuito elettrico molto semplice, risulta di grande utilità

00000001, il valore della tensione di uscita viene incrementato di 1/255 del valore massimo. Maggiore è il numero di bit con il quale opera il convertitore, minore è il rapporto di incremento dell'uscita, per cui risulta maggiore la precisione. Per l'applicazione proposta si è scelto un convertitore digitale-analogico a scala a 8 bit, il DAC-0800.

Descrizione del circuito

Anche se dallo schema elettrico può apparire un circuito molto semplice, questo convertitore risulta di grandissima utilità quando si devono controllare dispositivi analogici; si lascia alla fantasia del lettore immaginare a quali e quante applicazioni può essere destinato questo congegno.
Il circuito è stato progettato per essere collegato alla porta parallela del calcolatore, in modo da rendere possibile la variazione del dato a 8 bit in ingresso utilizzando dei programmi molto semplici.

Il dato presente sulla porta parallela viene inviato direttamente all'ingresso del convertitore, e sull'uscita del primo amplificatore operazionale si ottiene un valore di tensione direttamente proporzionale al valore digitale inviato.
Gli altri due amplificatori operazionali, unitamente ai condensatori e alle resistenze associate, costituiscono il filtro di uscita.
Questo circuito richiede per il suo funzionamento un'alimentazione esterna simmetrica di ± 15 V.

Il convertitore

Come già detto, il progetto è basato sul circuito integrato DAC-0800. Si tratta di un convertitore digitale-analogico a 8 bit ad alta velocità e a basso costo, con caratteristiche di funzionamento che lo rendono adatto ad una grande varietà di applicazioni, come interfaccia tra circuiti digitali e analogici.
Tra le varie caratteristiche si segnalano:
- rapida diminuzione della corrente di uscita, 85 ns;

Il convertitore risulta di grande utilità quando si devono controllare dispositivi analogici

Con questo circuito non è possibile ottenere una tensione di uscita di 0 V. Il valore che più gli si avvicina risulterà sempre di alcuni millivolt al di sopra o al di sotto

- errore di fondo scala di ± 1 LSB;
- compatibilità con la maggior parte delle famiglie logiche;
- due uscite di corrente complementari, e quindi possibilità di operare in modo bipolare o unipolare;
- errore di linearità massimo dello 0,1 % in tutta la gamma di temperature;
- ampio margine della tensione di alimentazione, compresa tra ± 4,5 e ± 18 V;
- basso assorbimento, circa 33 mW, per una tensione di alimentazione di ± 5V.

Il funzionamento del circuito convertitore è molto semplice. In questa applicazione è stato configurato per operare in modo bipolare simmetrico, utilizzando il codice binario complementato.

Il valore della corrente di uscita, I_{out} è il prodotto del valore binario applicato ai suoi ingressi, da D1 a D8 dove D8 è il bit meno significativo, per la corrente di riferimento I_{ref}.

Il valore di I_{ref} viene definito dalla resistenza collegata all'ingresso VR+, terminale 14, e dalla tensione di riferimento a questo applicata. Nel caso in esame la tensione di riferimento è di + 15 V, e la resistenza R1 ha un valore di 7,5 kΩ; da ciò risulta un valore di I_{ref} di 0,2 mA.

Sull'uscita dell'amplificatore IC2D si ottiene una tensione proporzionale alla differenza delle correnti fornite dal DAC-0800

Il valore di I_{out} è dato da:

$I_{out} = (I_{ref}/256) \times (128xD1 + 64xD2 + 32xD3 + 16xD4 + 8xD5 + 4xD6 + 2xD7 + D8)$

Il valore dell'uscita complementare si ottiene con la stessa formula, cambiando i valori dei bit con i loro complementari in modo che la somma delle correnti di uscita I_{fs} risulti sempre costante:

$I_{fs} = I_{ref} \times 255/256$.

La resistenza R2, di valore uguale a R1, viene utilizzata per compensare gli errori dovuti all'elevato guadagno dell'amplificatore di riferimento interno dell'integrato. Nel circuito integrato IC2 sono presenti quattro amplificatori operazionali. All'uscita dell'amplificatore IC2D si otterrà una tensione il cui valore è proporzionale alle due correnti di uscita del DAC. Il valore massimo di questa tensione è determinato dalle resistenze R3 e R4, entrambe da 5,1 kΩ, e varrà:

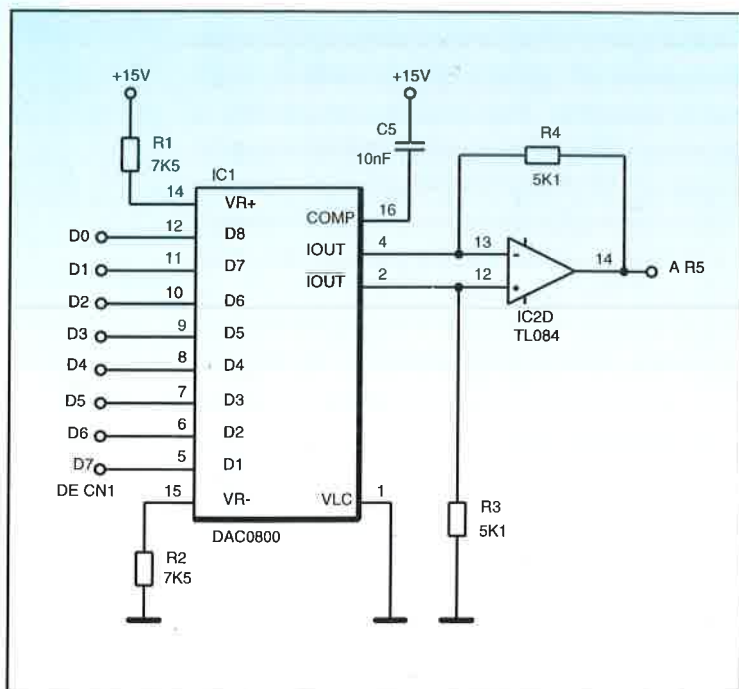
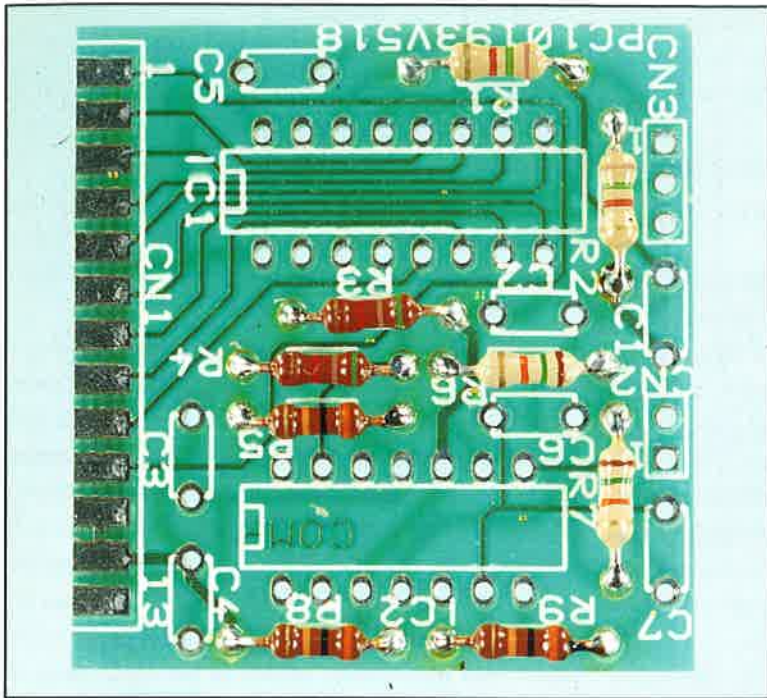
$V_o = R4 \times (2 \times I_{out} - I_{fs})$

Tenendo presenti le formule precedenti, il massimo valore positivo si ha per $I_{out}=I_{fs}$, $V_o = +10,160$ V, che si ottiene per un ingresso binario pari a 11111111. Il valore minimo si ottiene per $I_{out} = 0$ e $V_o = -10,160$ V, che deriva da un valore binario di ingresso pari a 00000000.

Con questo circuito non è possibile ottenere una tensione di uscita di 0V, poiché l'operazione è completamente simmetrica. Il valore più prossimo risulterà sempre di alcuni millivolt sopra o sotto lo 0.

Tutti i valori indicati sono teorici e possono variare leggermente in funzione della tolleranza delle resistenze utilizzate e dei rapporti tra R1/R2 ed R3/R4.

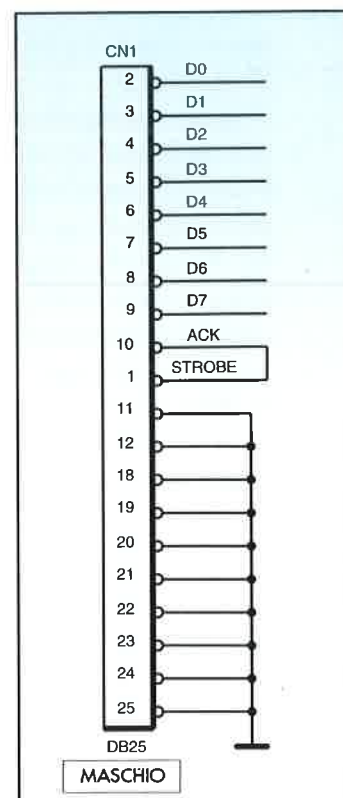
FILTRO DI USCITA

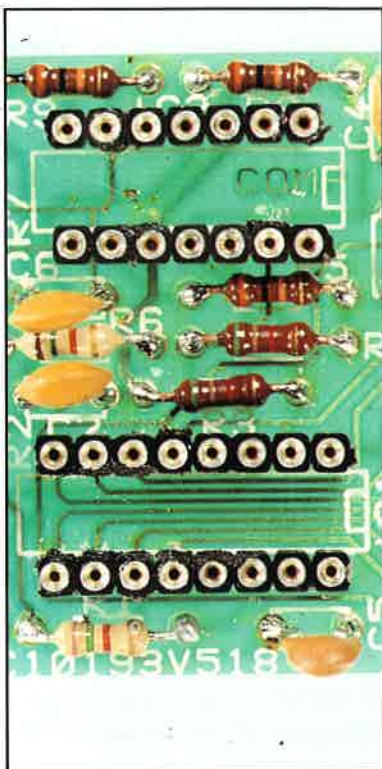
L'amplificatore operazionale IC2B, in abbinamento alle resistenze R7, R8 e R9 ed ai condensatori C6 e C7, costituisce un filtro passa-banda. Il guadagno in tensione del filtro viene definito da G = R9/R7 = 2. La risposta cresce in ragione di 6 dB/ottava, presentando un guadagno unitario per $f_1 = 1/(6,283 \times R9 \times C6) = 53$ Hz; diventa lineare con un guadagno 2 tra $f_2 = 1/(6,283 \times R7 \times C6) = 106$ Hz e $f_3 = 1/(6,283 \times R9 \times C7) = 113$ kHz. A partire da f_3 il segnale inizia ad essere attenuato in ragione di 6 dB/ottava, e presenta un guadagno unitario per $f_4 = 1/(6,283 \times R7 \times C7) = 226$ kHz.

Le resistenze sono i primi componenti che devono essere montati sul circuito

L'operazionale IC2C, con le resistenze R5 e R6, forma un amplificatore con guadagno 1/2; attenua perciò il segnale fornito dal convertitore sino alla metà del suo valore (6dB).
Poiché IC2C riduce il segnale alla metà del suo valore, e IC2B lo amplifica al doppio, il segnale presente sul connettore CN2 sarà identico a quello che fornisce il convertitore, con le frequenze inferiori a 106 Hz e superiori a 113 kHz attenuate.
Il compito di questo filtro è quello di eliminare i transitori a frequenza elevata che si possono generare durante le commutazioni realizzate dal convertitore, e attenuare il più possibile le frequenze basse. Evidentemente questo filtro è stato pensato per utilizzare questo convertitore come generatore di segnali periodici con frequenze superiori a 100 Hz e inferiori a 100 kHz. Nel caso il convertitore venga utilizzato per il controllo di circuiti in corrente continua, si deve provocare un cortocircuito sui condensatori C6 e C7, eliminando in questo modo l'effetto del filtro, per ottenere una tensione continua sul connettore CN2.

MONTAGGIO

Prima di iniziare a saldare i componenti bisogna tener presente che il circuito stampato ha i fori non metallizzati, per cui qualche componente dovrà essere saldato sia sul lato saldature che sul lato componenti. La doppia saldatura deve essere eseguita quando, osservando il circuito dal lato componenti, si nota che da un foro parte una pista.
Dopo aver identificato e classificato tutti i componenti si può iniziare il montaggio cominciando a saldare le resistenze da R1 a R9; si prosegue poi con i terminali torniti, che servono da zoccoli per i circuiti integrati, montando due file da 8 terminali per IC1 e due file da 7 terminali per IC2. Vengono utilizzate le strisce di terminali torniti al posto degli zoccoli tradizionali perché rendono l'operazione di doppia saldatura più facile da eseguire.
Il passo successivo è rappresentato dal montaggio dei condensatori, da C1 a C7, e dei terminali maschi che servono sia per la connessione CN3 dell'alimentazione che per l'uscita CN2 del segnale.
Per il montaggio del connettore CN1 si deve inserire il circuito stampato tra le file dei suoi terminali, verificando che questi coincidano con le corrispondenti isole presenti sullo stampato stesso. Per rendere più semplice l'operazione, si consiglia di seguire la procedura descritta di seguito: saldare innanzi tutto i terminali più esterni in modo da fissare il connettore, controllare che gli altri terminali risultino allineati alle rispettive isole, proseguire con le restanti saldature su entrambi i lati dello stampato.
Come ultima operazione bisogna inserire i circuiti integrati nei rispettivi zoccoli, prestando attenzio-

L'operazionale IC2C con le resistenze R5 e R6 costituisce un amplificatore con guadagno del 50%

Tra tutti i segnali della porta parallela si utilizzano solamente quelli corrispondenti al bus dei dati

I terminali utilizzati come zoccoli consentono una più semplice operazione di saldatura su entrambe le facce del circuito

ne alle tacche di riferimento riportate sulla serigrafia.

VERIFICA DEL CIRCUITO

Per poter verificare il funzionamento del sistema si devono cortocircuitare con due pezzi di cavo i condensatori C6 e C7, poiché il controllo che si sta per eseguire prevede che l'uscita presenti valori in tensione continua.

Prima di effettuare qualsiasi verifica del circuito sul proprio calcolatore si devono collegare i cavi di alimentazione a CN3. La tensione di + 15 V deve essere connessa al terminale 1, quella a - 15 V al 2, e la massa comune ad entrambe al terminale 3. Con la tensione di alimentazione applicata, devono essere presenti tra la massa e i terminali 13 di IC1 e 4 di IC2 una tensione di + 15 V, e tra la massa e i terminali 3 di IC1 e 11 di IC2 una tensione di - 15 V.

L'inversione di polarità dell'alimentazione può danneggiare i circuiti integrati.

Il passo successivo consiste nella verifica del circuito sulla porta parallela del computer. Per poterlo eseguire è necessario sviluppare un piccolo programma che consenta di scrivere un dato sulla porta parallela senza utilizzare i segnali del protocollo. Non è possibile utilizzare una istruzione di uscita dati verso la stampante, poiché questi ultimi non rimarrebbero sulla porta un tempo sufficiente per poter apprezzare la commutazione dell'uscita.

L'indirizzo della porta parallela nella mappa di I/O è 888, per cui il programma dovrà essere in grado di scrivere un dato a questo indirizzo. Utilizzando il linguaggio BASIC, si può scrivere questo semplice programma:

```
DATO=0
WHILE DATO<>300
INPUT "VALORE(0-255) (300=USCIRE)",DATO
OUT 888,DATO
WEND
```

Il programma richiederà il dato che si desidera inviare al convertitore e lo scriverà sulla porta parallela. Il programma termina quando si digita il valore 300.

Il collegamento del circuito deve essere fatto con computer spento e senza alimentazione al convertitore. Utilizzando un tester, con la scala dei volt selezionata per la corrente continua, si esegua una misura sul connettore CN2, ricordando che la massa corrisponde al terminale 2. Lanciare il programma appena scritto e digitare il valore 255, che corrisponde a 11111111 in binario; con questo valore, la lettura sul tester deve corrispondere al massimo valore di uscita di circa + 10,16 V. Il successivo valore da digitare è 0, corrispondente a 00000000 in binario; si otterrà in uscita il corrispondente valore di tensione minimo di circa - 10,16 V. Ad ogni incremento unitario del valore del dato inviato corrisponderà un incremento del valore in uscita di circa 80 mV. I valori per i quali ci si avvicina maggiormente a 0 V sono 127 e 128 (rispettivamente 01111111 e 00000001 in binario), per i quali risulta un valore di tensione in uscita di circa - 40 e + 40 mV.

L'inversione della tensione di alimentazione può danneggiare gli integrati

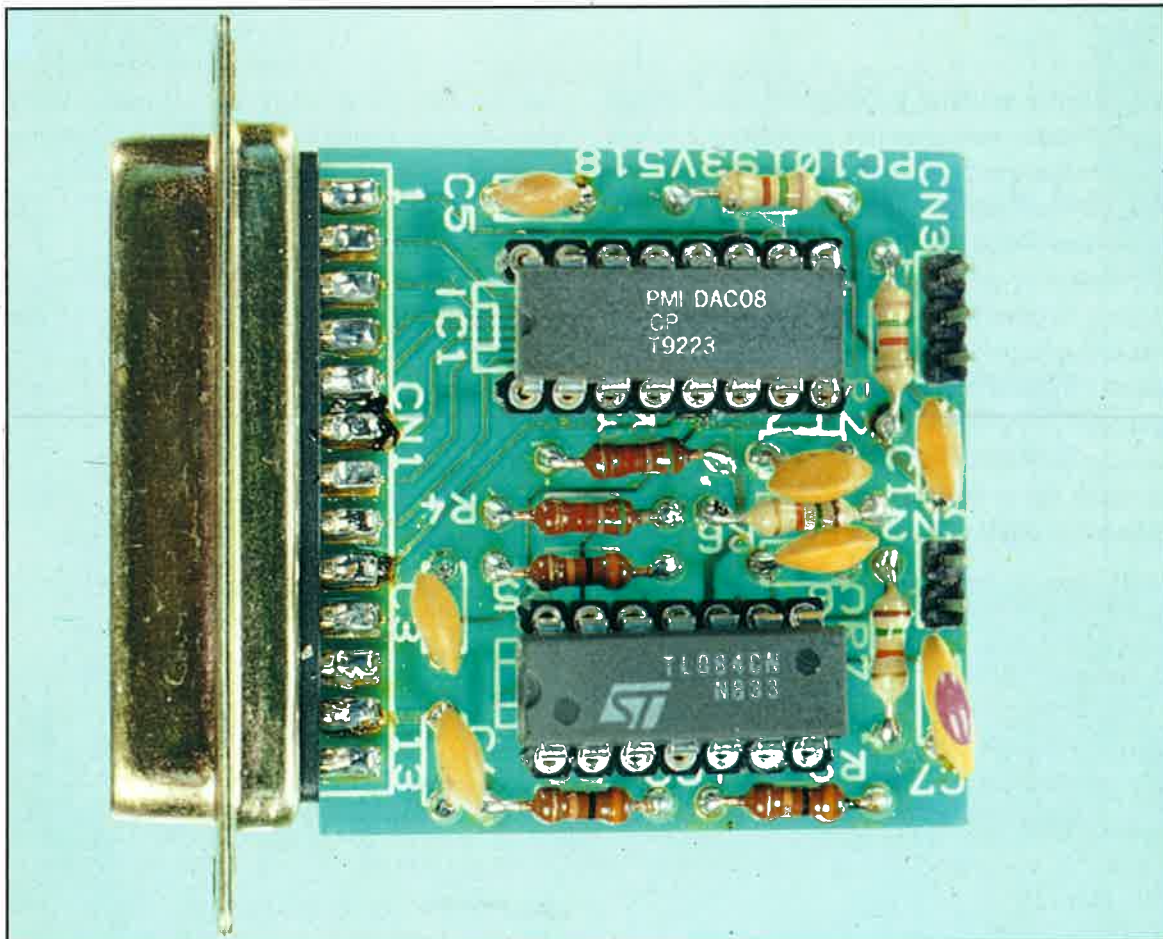
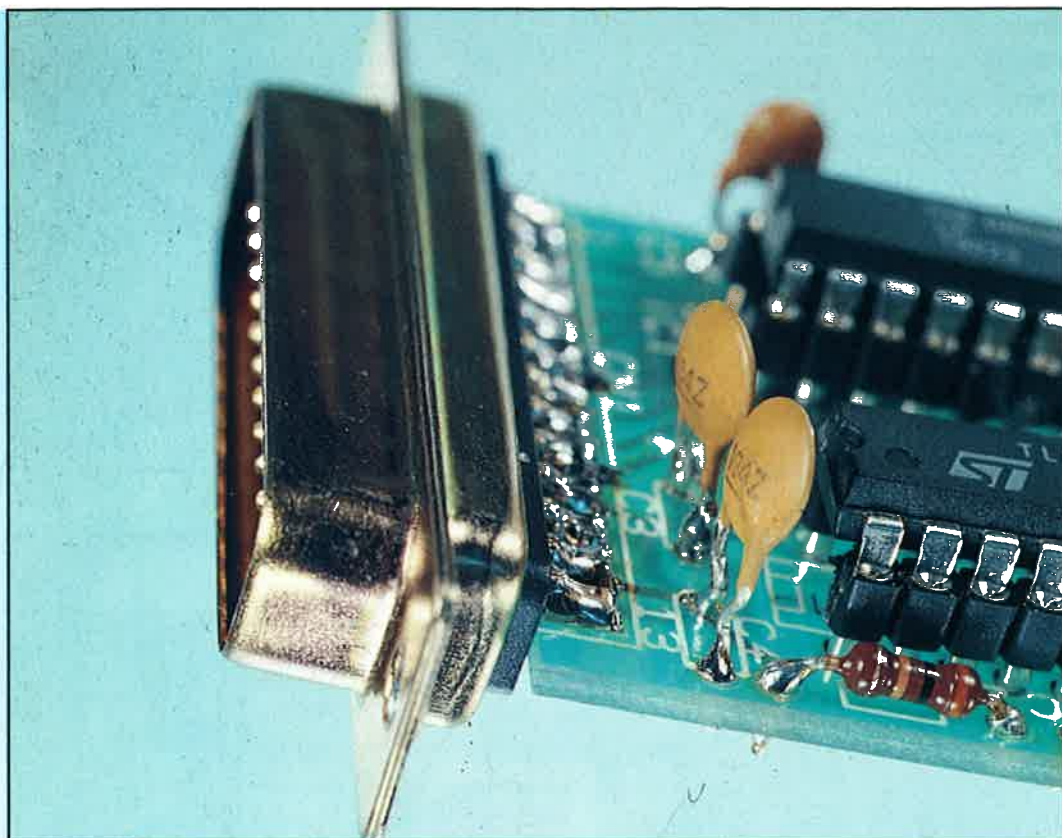
Il circuito con i condensatori già montati

Prendendo come riferimento le istruzioni del programma di prova, è possibile creare altri programmi che possono servire per controllare i dispositivi desiderati, da un comparatore a un generatore di forme d'onda.
Nel caso si pensi di utilizzare il convertitore come generatore di funzioni, è consigliabile calcolare preventivamente i dati necessari per generare l'onda, memorizzarli in una matrice, e successivamente inviarli direttamente alla porta parallela.
Ricordarsi sempre che per applicazioni in corrente continua, o con segnali variabili di frequenza inferiore a 100 Hz, i condensatori di filtro devono essere cortocircuitati. A frequenze maggiori si devono eliminare i ponticelli per far sì che il filtro agisca come tale.

Il filtro di uscita elimina i segnali a frequenza bassa e alta

APPLICAZIONI

Questo convertitore digitale-analogico può essere utilizzato per controllare qualsiasi circuito nel quale sia richiesta una variazione della tensione per modificarne il funzionamento. Di seguito vengono riportate alcune tipiche applicazioni.
Un alimentatore con uscita variabile può essere un ottimo esempio di impiego in corrente continua. Se si è in possesso di un alimentatore con tensione di uscita fissa, è possibile convertirlo in un alimentatore variabile controllato dal computer. Applicando l'uscita del convertitore ad un circuito

Aspetto del circuito completamente montato

Il programma richiede il dato che si desidera inviare al convertitore e lo scrive sulla porta parallela

Come si può verificare nella fotografia, il connettore viene inserito in corrispondenza delle apposite isole presenti sul circuito stampato

generatore di forme d'onda. Con un programma che calcoli i valori di tensione della forma d'onda (ad esempio, un'onda sinusoidale), si possono inviare alla porta parallela i dati necessari per ottenere una tensione di uscita che varia in accordo con la forma d'onda scelta. Il limite di frequenza dell'onda di uscita è determinato dalla velocità di accesso del calcolatore alla porta parallela, che varia in funzione della velocità del processore. Tenendo presenti i criteri di campionatura dei segnali variabili, e supponendo di poter scrivere 2000 dati al secondo, la frequenza massima del segnale potrà essere di 1000 Hz; per ricostruire una forma d'onda saranno necessarie perciò almeno due campionature per periodo. Per ottenere un'efficienza maggiore nel funzionamento come generatore di forme d'onda si deve utilizzare un dispositivo in grado di immagazzinare i dati corrispondenti alla forma d'onda che si vuole generare, per poi inviarli al convertitore con la frequenza desiderata. La limitazione di frequenza in questo caso è rappresentata dal tempo di stabilizzazione dell'uscita del convertitore, che permette un massimo di un milione di campionature al secondo. In questo modo è possibile generare, secondo i criteri di campionatura dei segnali, forme d'onda con frequenze fino a 500 kHz, corrispondenti all'intervallo di funzionamento di un generatore audio.

regolatore di tensione, sia integrato che a componenti discreti, sarà possibile controllare il valore della tensione variando solamente la combinazione binaria all'ingresso del convertitore. Il circuito può essere anche utilizzato per controllare il punto di innesco di un comparatore. Se ad uno degli ingressi di quest'ultimo viene collegato il segnale che arriva da un sensore, e l'uscita del convertitore viene collegata all'ingresso di riferimento, sarà possibile controllare il punto di innesco del comparatore semplicemente variando la tensione di uscita del convertitore. Un'altra applicazione classica di questo circuito è il suo impiego come

Elenco componenti

Resistenze

R1, R2 = 7,5 kΩ, 1/4 W - 5%

R3, R4 = 5,1 kΩ, 1/4 W - 5%

R5, R8, R9 = 30 kΩ, 1/4 W - 5%

R6, R7 = 15 kΩ, 1/4 W - 5%

Condensatori

C1, C2, C3, C4, C6 = 100 nF, multistrato

C5 = 10 nF, multistrato

C7 = 47 pF, ceramico a disco

Circuiti integrati

IC1 = DAC0800, oppure DAC08

IC2 = TL084

Varie

Connettore DB-25 maschio diritto a saldare

5 Terminali maschi

30 Terminali torniti per zoccoli

1 Circuito stampato PC10193V518

Cavi di colori differenti per i collegamenti elettrici